

## ПРОМИСЛОВІ СХЕМИ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА: ДЕЯКІ ПИТАННЯ РОБАСТНОСТІ ТА ГНУЧКОСТІ

*Шахновський А.М.\*, Квітка О.О.\*, Поплевський Г.\*\*\*, Бохенек Р.\*\**

*\*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", Київ, e-mail: AMShakhn@kxtp.kpi.ua*

*\*\* Ignacy Łukasiewicz Rzeszów University of Technology, e-mail: ichgp@prz.rzeszow.pl*

Нині запропоновано значну кількість процедур оптимального проектування сталих схем водного господарства (водоспоживання, водовідведення та водоочищення) – див. напр., [1]. При цьому є фактом, що результат проектування – вказані схеми водного господарства (СВГ), – є оптимальними насамперед з точки зору мінімізації споживання свіжої води. При цьому спроектовані оптимальні СВГ мають складну топологію, розраховані для стаціонарного стану, тобто не виявляють робастності (стійкості) до можливої у процесі експлуатації зміни технологічних параметрів якості води, відхилень т та коливань навколо величини номінальної витрати води, тощо. Прояв неоптимальності функціонування схеми водного господарства при такому підході є критичним, оскільки вимагає зупинення виробництва для переналаштування. Отже, важливою є задача створення робастних і гнучких СВГ, здатних ефективно функціонувати в умовах відхилення від стаціонарних режимів функціонування виробництва.

Під робастними методами тут розуміємо стійкі у стохастичному середовищі методи керування процесом проектування та експлуатації СВГ, тобто такі методи, які забезпечують ефективну роботу у важко передбачуваних умовах зміни параметрів технологічного процесу – [2]. Гнучка технологічна схема водного господарства покликана забезпечити переналаштування схеми із режиму на режим із мінімальними витратами ресурсів (включаючи матеріальні, людські ресурси, витрати часу) – [3].

Вказані вимоги до СВГ можуть бути забезпечені, зокрема:

- а) впровадженням систем автоматизації та керування виробництвом;
- б) підвищенням “відмовостійкості” СВГ шляхом використання спеціальних методів проектування.

Впровадження мікропроцесорної автоматизованої системи керування технологічними процесами водоспоживання, водовідведення та водоочищення є радикальним, але достатньо болісним (з точки зору матеріальних витрат, витрат часу, тощо) рішенням проблеми неоптимальності СВГ у випадках відхилення процесу від стаціонарного стану. Очевидною є недоцільність впровадження автоматизованої системи керування виключно для однієї із підсистем технологічного процесу. Тому у разі такого підходу сімейство рішень задачі оптимізації СВГ (для множини варіантів найбільш ймовірних експлуатаційних умов) інтегрується у загальний алгоритм оптимального керування технологічним процесом на виробництві.

Альтернативою у межах вказаного підходу є відмова від комплексних рішень. Масове поширення і стрімке здешевлення масових моделей малопотужних мікропроцесорів (наприклад, AVR ATmega), поширення доступних інструментальних засобів програмування мікропроцесорів (зокрема, сімейства Arduino) відкривають можливість розробки цілком професійно-спроможних рішень з автоматизації технологічних схем малого і середнього масштабу (аж до створення комп’ютерно-інтегрованих SCADA-систем автоматизації).

В свою чергу, підвищення “запасу стійкості” СВГ до відхилення від усталених режимів, внесення властивостей робастності та гнучкості на етапі проектування у СВГ є важливим підходом, що не виключає використання засобів автоматизації технологічної схеми.

Представлена робота присвячена важливим аспектам процесу проектування технологічних схем водного господарства, покликаним забезпечити робастність та гнучкість спроектованих схем. В окреслених межах представлено досвід співробітництва науковців

Національного технічного університету України «КПІ» та Жешувського технологічного університету, зокрема, у таких питаннях:

- 1) Зменшення невизначеності даних на етапах попереднього та основного проектування.
- 2) Проектування «гнучких» технологічних схем водного господарства.

### **Мінімізація невизначеності даних.**

Зменшення або виключення невизначеності вихідних даних та невизначеності математичних моделей технологічних одиниць у більшості випадків вимагає застосування спеціальних методів планування оптимального експерименту. Оскільки на етапі передпроектування необхідну для проектування інформацію про об'єкт отримують шляхом аналізу літературних джерел, оцінки результатів дослідження аналогічних об'єктів і (що особливо важливо у випадку модернізації існуючого виробництва) шляхом опитування спеціалістів-технологів, цікавим є досвід авторів даного дослідження щодо «узагальнення» експертної інформації, аналізу її «несуперечності», тощо. Слід зауважити, що задача збирання вихідних даних часто є нетривіальною і творчою, оскільки значна частина потрібних даних не є необхідною у процесі експлуатації, і, як наслідок, такі дані можуть бути відсутніми або зберігатися несистематично [4].

Частина інформації про об'єкт проектування може бути отримана як результат дослідів, проведених при налагоджуванні технологічного процесу (під час запуску процесу в експлуатацію, виходу на стаціонарний режим після ремонтів, і т.д.) та у режимі нормальної експлуатації. Результати цих дослідів можуть бути опрацьовані статистичними методами теорії планування експерименту як малі масиви пасивної інформації. Внаслідок такого розрахунку може бути виконано, наприклад:

- визначення статистичних характеристик параметрів процесу як випадкових величин;
- оцінку законів розподілу вказаних величин, і т.п.

Очевидно, що малий обсяг інформації спричиняє наближеність характеристики досліджуваних змінних. Проте, як показує досвід, оцінки такого попереднього пасивного експерименту незначно відрізняються від оцінок основного (планованого) експерименту. При цьому повноцінний планований експеримент на виробництві вимагає значних витрат, зупинки виробництва і т.д.

Під час реєстрації вказаних даних автори зіткнулися також із проблемою достовірності вимірювань. Проблема оцінки похибок прямих, непрямих та сумісних вимірювань у більшості випадків вдається вирішувати із залученням спеціальних математичних методів. Проте успішно використовувати при подальшому проектуванні результати таких вимірювань можливо тільки у разі, якщо точність вимірювання (а також встановлення на певному рівні під час активного експерименту) «вхідних» параметрів хоча б на порядок вища за точність вимірювання досліджуваних змінних стану об'єкту. Додаткові проблеми реєстрації даних викликають інерційні (динамічні) властивості досліджуваної схеми, що часом унеможлиблює використання даних пасивного експерименту і вимагає збільшення тривалості проведення активних експериментів на об'єкті.

### **Проектування гнучких СВГ.**

Під гнучкими схемами водного господарства розуміємо СВГ, оптимальні витратами води, за експлуатаційними витратами, довжиною трубопроводів забезпечення повторного водовикористання, та стійкі до змін множини параметрів водних потоків та зміни вимог технологічних процесів.

В основу розрахунку покладено комбінаторну процедуру синтезу СВГ шляхом системного спрощення так званої «узагальненої схеми». У склад узагальненої схеми водного господарства включають усі можливі з технічної та економічної точки зору можливості

сполучень процесів-водоспоживачів і процесів-водоочищувачів. У свою чергу, оптимізація математичної моделі узагальненої схеми покликана визначити «найкращі» значення витрат води для кожного із «сполучень» (трубопроводів всередині СВГ) із виключенням значної кількості із вказаних сполучень. Тобто, вирішення задачі оптимізації моделі узагальненої схеми СВГ дає оптимальну структуру СВГ (див., напр., [5]).

Як вже зазначалося, оптимальна СВГ, розрахована для конкретних значень технологічних параметрів, у разі зміни цих параметрів може працювати неоптимальним чином. Через обмеження у структурі схеми та обмеження витрат води в трубопроводах зміна параметрів функціонування складових СВГ може призвести до серйозних наслідків, аж до необхідності аварійної зупинки виробництва та внесення конструктивних змін до СВГ.

Пропонований тут метод проектування гнучких схем СВГ використовує теорему про кутові точки, як одну з базових теорем адитивної комбінаторики. Стосовно до оптимального проектування СВГ, теорему про кутові точки можна сформулювати наступним чином [5, 6]. Схема, яка оптимально працює для всіх комбінацій граничних значень параметрів (тобто, для усіх кутових точок), зможе оптимально працювати також для різних комбінацій значень параметрів із діапазону, визначеного цими крайніми значеннями.

**Висновки.** Представлені математичні підходи, запропоновані у процесі проектування схем водного господарства промислових підприємств проектування, мають на меті забезпечення робастності, стійкості до відхилень режиму функціонування підприємства від стаціонарного стану.

Дане дослідження присвячене світлій пам'яті професора Я. Єжовського (Жешувський технологічний університет), та професора Г. О. Статюхи (КПІ імені Ігоря Сікорського).

Представлене дослідження є частиною проекту «Розроблення сталих промислових схем водного господарства» (номер державної реєстрації 0117U005297).

#### **Література:**

1. Shakhnovsky A., Kvitka O. Design of sustainable industrial water networks: 1. Genesis of the systematic methods // Water and water purification technologies. Scientific and technical news. – Kyiv, 2019. – No. 1 (24) – pp. 34-44. URL: <http://wpt.kpi.ua/article/view/172907/172703>.
2. Математическое моделирование образовательных процессов: монография / В. В. Щипанов, Ю. К. Чернова, С. А. Крылова; ТГУ; под науч. ред. А.И. Субетто. - Тольятти: ТГУ, 2005. – 101 с.
3. Кондрашева С.Г., Лашков В.А. Разработка гибкой технологической схемы подготовки компонентов на химических предприятиях // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №22. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-gibkoy-tehnologicheskoy-shemy-podgotovki-komponentov-na-himicheskikh-predpriyatiyah> (дата зверення: 11.10.2019).
4. Shakhnovsky A., Kvitka A., Statyukha G., Jeżowski J., Jeżowska A. On the statistical analysis of data for the water usage network design // Chemical and process engineering. – 2007. – v. 28. – p. 493-503.
5. Poplewski G. A new methodology for the synthesis of an optimum flexible water networks // Process Safety and Environmental Protection, Volume 95, May 2015, Pages 172-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.03.001>
6. Poplewski G., Shakhnovsky A. Designing of optimal and flexible total water networks // Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2019: Збірник наукових статей Сьомої міжнар. наук.-практ. конф. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019 – С. 278–284.